

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7234057号
(P7234057)

(45)発行日 令和5年3月7日(2023.3.7)

(24)登録日 令和5年2月27日(2023.2.27)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 4 N 23/60 (2023.01)	H 0 4 N 23/60	5 0 0		
G 0 6 T 5/00 (2006.01)	G 0 6 T 5/00	7 1 0		
G 0 6 T 7/00 (2017.01)	G 0 6 T 7/00	3 5 0 C		

請求項の数 24 (全22頁)

(21)出願番号	特願2019-124790(P2019-124790)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和1年7月3日(2019.7.3)	(74)代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65)公開番号	特開2020-36310(P2020-36310A)	(74)代理人	100104628 弁理士 水本 敦也
(43)公開日	令和2年3月5日(2020.3.5)	(74)代理人	100121614 弁理士 平山 倫也
審査請求日	令和4年6月28日(2022.6.28)	(72)発明者	日浅 法人 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2018-156813(P2018-156813)	審査官	徳 田 賢二
(32)優先日	平成30年8月24日(2018.8.24)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像処理方法、画像処理装置、撮像装置、レンズ装置、プログラム、記憶媒体、および、画像処理システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学系における第1の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第1の画像と、前記光学系における前記第1の瞳とは異なる第2の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第2の画像と、を取得する工程と、
前記第1及び第2の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する工程と、を有することを特徴とする画像処理方法。

【請求項2】

前記出力画像は、前記デフォーカスによるぼけに対し、ヴィネッティング、点像強度分布のピーク分離による多重ぼけ、輪帯模様、または前記光学系の瞳の遮蔽のうち少なくとも一つの影響が軽減された画像であることを特徴とする請求項1に記載の画像処理方法。

【請求項3】

前記出力画像のデフォーカスによるぼけの拡がり、は、前記第1の画像のデフォーカスによるぼけの拡がり以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の画像処理方法。

【請求項4】

前記第1の瞳の透過率分布は、前記第2の瞳の透過率分布と異なることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項5】

前記第2の瞳は、前記第1の瞳の一部であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれ

か一項に記載の画像処理方法。

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の画像は、前記光学系を介して前記被写体を同時に撮像することで得られた画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 の画像は、同一の撮像素子を用いた撮像により得られた画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 8】

前記撮像素子は、それぞれが互いに異なる入射角の光を受光する第 1 及び第 2 の光電変換部を含む複数の画素を有し、

前記第 1 の光電変換部は前記第 1 の瞳からの光を受光し、前記第 2 の光電変換部は前記第 2 の瞳からの光を受光することを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理方法。

【請求項 9】

前記第 1 及び第 2 の画像の明るさを合わせる処理を行う工程を更に有し、

前記出力画像を生成する工程は、前記明るさを合わせる処理が行われた前記第 1 及び第 2 の画像に基づいて実行されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 10】

前記明るさを合わせる処理は、前記第 1 及び第 2 の瞳の透過率分布に関する情報に基づいて実行されることを特徴とする請求項 9 に記載の画像処理方法。

【請求項 11】

前記明るさを合わせる処理は、前記第 1 及び第 2 の画像のそれぞれの部分領域に関して算出された平均画素値に基づいて実行されることを特徴とする請求項 9 に記載の画像処理方法。

【請求項 12】

前記第 2 の瞳が線対称となる軸と平行かつ前記第 1 及び第 2 の画像のそれぞれの基準点を通過する直線により分割された前記第 1 及び第 2 の画像に対して反転処理を行う工程を更に有し、

前記出力画像を生成する工程は、前記反転処理が行われた前記第 1 及び第 2 の画像に基づいて実行されることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 13】

前記第 1 及び第 2 の画像に基づいて前記被写体に対応する視差マップまたはデプスマップを算出する工程を更に有し、

前記出力画像を生成する工程は、前記視差マップまたは前記デプスマップに基づいて実行されることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 14】

前記出力画像を生成する工程は、前記視差マップまたは前記デプスマップを前記多層のニューラルネットワークに入力する工程を含むことを特徴とする請求項 13 に記載の画像処理方法。

【請求項 15】

前記出力画像を生成する工程は、前記第 1 の画像、前記第 2 の画像、および、前記視差マップまたは前記デプスマップをチャンネル方向に連結して構成される入力画像を前記多層のニューラルネットワークに入力する工程を有することを特徴とする請求項 14 に記載の画像処理方法。

【請求項 16】

前記出力画像を生成する工程は、前記第 1 の画像または前記第 2 の画像におけるエッジの分布、或いは、前記第 1 及び第 2 の画像に基づいて算出された前記視差マップまたは前記デプスマップに基づいて、前記多層のニューラルネットワークに入力する前記第 1 及び第 2 の画像のそれぞれの入力領域を決定する工程を有することを特徴とする請求項 13 に

10

20

30

40

50

記載の画像処理方法。

【請求項 17】

前記出力画像を生成する工程は、

前記多層のニューラルネットワークを用いて、互いに異なるサンプリングレートのダウンサンプリングが実行された複数の特徴マップを算出する工程と、

前記複数の特徴マップに基づいて前記出力画像を生成する工程と、を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載の画像処理方法。

【請求項 18】

光学系における第 1 の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第 1 の画像と、前記光学系における前記第 1 の瞳とは異なる第 2 の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第 2 の画像と、を取得する取得手段と、

前記第 1 及び第 2 の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段と、を有することを特徴とする画像処理装置。

【請求項 19】

光学系により形成された光学像を光電変換する撮像素子と、

請求項 18 に記載の画像処理装置と、を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 20】

前記撮像素子は複数の画素を有し、

該複数の画素のそれぞれは、複数の光電変換部を有し、

前記画素は、前記複数の光電変換部のそれぞれで互いに異なる入射角で入射する光を受光して複数の信号を生成し、

前記撮像素子は、前記複数の信号を加算した加算信号に対応する前記第 1 の画像と、前記複数の信号の一つの信号または該複数の信号の一部を加算した加算信号に対応する前記第 2 の画像と、を出力することを特徴とする請求項 19 に記載の撮像装置。

【請求項 21】

撮像装置に着脱可能なレンズ装置であって、

光学系と、

多層のニューラルネットワークに入力されるウエイトに関する情報を記憶する記憶手段と、を有し、

前記撮像装置は、

前記光学系における第 1 の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第 1 の画像と、前記光学系における前記第 1 の瞳とは異なる第 2 の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第 2 の画像と、を取得する取得手段と、

前記第 1 及び第 2 の画像と前記ウエイトに関する情報を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段と、を有することを特徴とするレンズ装置。

【請求項 22】

請求項 1 乃至 17 のいずれか一項に記載の画像処理方法をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 23】

請求項 22 に記載のプログラムを記憶していることを特徴とする記憶媒体。

【請求項 24】

第 1 の処理装置と第 2 の処理装置とを有する画像処理システムであって、

前記第 1 の処理装置は、光学系における第 1 の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第 1 の画像と、前記光学系における前記第 1 の瞳とは異なる第 2 の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第 2 の画像と、を用いた画像処理の要求を前記第 2 の処理装置に対して送信する送信手段を有し、

前記第 2 の処理装置は、

前記第 1 の処理装置から送信された前記要求を受信する受信手段と、

10

20

30

40

50

前記第 1 及び第 2 の画像とを取得する取得手段と、
前記第 1 及び第 2 の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段と、
を有することを特徴とする画像処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系の瞳を分割して撮像した画像に対して、デフォーカスによるぼけを整形し、良好なぼけ味の画像を得る画像処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、光学系の瞳を複数に分割して、各分割瞳から被写体空間を観察した複数の視差画像を撮像し、複数の視差画像を合成する際の重みを調整することで、デフォーカスによるぼけ（デフォーカスぼけ）の形状を制御する方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2016 - 220016 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、特許文献 1 に開示された方法は、各分割瞳の重みを調整して複数の視差画像を合成するため、光学系の瞳よりも大きい瞳に対応するデフォーカスぼけを再現することができない。つまり、この方法では、ヴィネティングによるデフォーカスぼけの欠けを埋めることができない。また、複数の視差画像の合成の重みが不均一になると、ノイズが増大する。また、二線ぼけや、光学系に含まれる非球面レンズ等に起因するデフォーカスぼけの輪帯模様は、構造が細かいため、それらの影響を軽減するには、光学系の瞳を細かく分割する必要がある。この場合、各視差画像における空間解像度の低下、又はノイズの増大が生じる。

【0005】

そこで本発明は、画像のデフォーカスによるぼけを整形し、良好なぼけ味の画像を得ることが可能な画像処理方法、画像処理装置、撮像装置、レンズ装置、プログラム、および、記憶媒体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面としての画像処理方法は、光学系における第 1 の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第 1 の画像と、前記光学系における前記第 1 の瞳とは異なる第 2 の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第 2 の画像と、を取得する工程と、前記第 1 及び第 2 の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する工程とを有する。

【0007】

本発明の他の側面としての画像処理装置は、光学系における第 1 の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第 1 の画像と、前記光学系における前記第 1 の瞳とは異なる第 2 の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第 2 の画像と、を取得する取得手段と、前記第 1 及び第 2 の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段とを有する。

【0008】

本発明の他の側面としての撮像装置は、光学系により形成された光学像を光電変換する撮像素子と前記画像処理装置とを有する。

【0009】

10

20

30

40

50

本発明の他の側面としてのレンズ装置は、撮像装置に着脱可能なレンズ装置であって、光学系と、多層のニューラルネットワークに入力されるウエイトに関する情報を記憶する記憶手段とを有し、前記撮像装置は、前記光学系における第1の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第1の画像と、前記光学系における前記第1の瞳とは異なる第2の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第2の画像とを取得する取得手段と、前記第1及び第2の画像と前記ウエイトに関する情報を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段とを有する。

【0010】

本発明の他の側面としてのプログラムは、前記画像処理方法をコンピュータに実行させる。

10

【0011】

本発明の他の側面としての記憶媒体は、前記プログラムを記憶している。

【0012】

本発明の他の側面としての画像処理システムは、第1の処理装置と第2の処理装置とを有する画像処理システムであって、前記第1の処理装置は、光学系における第1の瞳を介して被写体を撮像することで得られた第1の画像と、前記光学系における前記第1の瞳とは異なる第2の瞳を介して前記被写体を撮像することで得られた第2の画像と、を用いた画像処理の要求を前記第2の処理装置に対して送信する送信手段を有し、前記第2の処理装置は、前記第1の処理装置から送信された前記要求を受信する受信手段と、前記第1及び第2の画像とを取得する取得手段と、前記第1及び第2の画像を多層のニューラルネットワークに入力することで、デフォーカスによるぼけが整形された出力画像を生成する生成手段とを有する。

20

【0013】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、画像のデフォーカスによるぼけを整形し、良好なぼけ味の画像を得ることが可能な画像処理方法、画像処理装置、撮像装置、レンズ装置、プログラム、および、記憶媒体を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】実施例1におけるぼけ整形画像を生成するネットワーク構造を示す図である。

【図2】実施例1における撮像装置のブロック図である。

【図3】実施例1における撮像装置の外観図である。

【図4】実施例1における撮像部の説明図である。

【図5】実施例1におけるぼけ整形画像の生成処理を示すフローチャートである。

【図6】実施例1における各像高とアジマスでの瞳分割の説明図である。

【図7】各実施例におけるデフォーカス距離でのぼけ整形前後の点像強度分布を示す図である。

40

【図8】各実施例におけるウエイトの学習に関するフローチャートである。

【図9】実施例2における画像処理システムのブロック図である。

【図10】実施例2における画像処理システムの外観図である。

【図11】実施例2における撮像素子の構成図である。

【図12】実施例2におけるぼけ整形画像の生成処理を示すフローチャートである。

【図13】実施例2における分割瞳と像高とヴィネティングとの関係を示す図である。

【図14】実施例2におけるぼけ整形画像を生成するネットワーク構造を示す図である。

【図15】実施例2におけるぼけ整形画像を生成する他のネットワーク構造を示す図である。

【図16】各実施例におけるミラーレンズを備えた光学系の説明図である。

50

【発明を実施するための形態】**【００１６】**

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照符号を付し、重複する説明は省略する。

【００１７】

まず、各実施例にて具体的な説明を行う前に、本発明の要旨を述べる。本発明は、ディープラーニングを用いることで、画像中のデフォーカスぼけを整形し、良好なぼけ味の画像を得る。デフォーカスぼけの整形とは、ヴィネッティングによるデフォーカスぼけの欠け、デフォーカスぼけのピークの分離による多重ぼけ（例えば、二線ぼけ）、非球面レンズの金型の切削痕に起因するデフォーカスぼけの輪帯模様等を抑制することを指す。

10

【００１８】

デフォーカスぼけの整形は、ミラーレンズのデフォーカスぼけがリング状になる現象を抑制することを含む。図１６は、ミラーレンズを備えた光学系１０の構成図である。図１６に示されるように、光学系１０は、主鏡Ｍ１および副鏡Ｍ２を備えて構成されるミラーレンズを有する。リング状のデフォーカスぼけは、副鏡Ｍ２でミラーレンズ（光学系１０）の瞳が遮蔽されることにより引き起こされる。図１６において、Ｌ１乃至Ｌ４はレンズを示し、Ｌ４は接合レンズである。また、ＩＰは像面であり、撮像素子が配置される位置に相当する。整形により、デフォーカスぼけをユーザにとって望ましい形状（例えばフラットな円形、又はガウス分布関数等）へ変化させることで、デフォーカスぼけの良好なぼけ味を実現する。

20

【００１９】

高精度なデフォーカスぼけの整形を実現するため、本発明では光学系の瞳（第１の瞳）で撮像された第１の画像と、瞳の一部（第１の瞳とは異なる第２の瞳）で撮像された第２の画像を、ディープラーニングへ入力する。第１の画像および第２の画像は瞳の大きさが異なるため、合焦距離からずれた際のデフォーカスぼけの大きさが異なる。このため、第１の画像および第２の画像のいずれか一方のみを入力する場合に対して、画像内のデフォーカスぼけと被写体の構造とを区別することができる。これにより、ディープラーニングによるデフォーカスぼけの整形を高精度に実現することができる。

【実施例１】**【００２０】**

30

まず、図２および図３を参照して、本発明の実施例１における撮像装置について説明する。図２は、撮像装置１００のブロック図である。図３は、撮像装置１００の外観図である。なお、本実施例の撮像装置１００は、カメラ本体とカメラ本体に一体的に構成されたレンズ装置とを備えて構成されるが、これに限定されるものではない。本発明は、カメラ本体（撮像装置本体）と、カメラ本体に着脱可能なレンズ装置（交換レンズ）とを備えて構成される撮像システムにも適用可能である。まず、撮像装置１００の各部の概略を説明し、その詳細については後述する。

【００２１】

図２に示されるように、撮像装置１００は、被写体空間の像を画像（撮像画像）として取得する撮像部１０１を有する。撮像部１０１は、被写体空間からの入射光を集光する光学系（撮像光学系）１０１ａと、複数の画素を有する撮像素子１０１ｂとを有する。撮像素子１０１ｂは、例えば、ＣＣＤ（Ｃｈａｒｇｅ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｄｅｖｉｃｅ）センサやＣＭＯＳ（Ｃｏｍｐｌｅｍｅｎｔａｒｙ Ｍｅｔａｌ－Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）センサである。

40

【００２２】

図４は、撮像部１０１の説明図である。図４（Ａ）は、撮像部１０１の断面図を示し、一点鎖線は軸上光束を表している。図４（Ｂ）は、撮像素子１０１ｂの上面図である。撮像素子１０１ｂは、マイクロレンズアレイ１２２と複数の画素１２１とを有する。マイクロレンズアレイ１２２は、光学系１０１ａを介して被写体面１２０と共役の位置に配置されている。図４（Ｂ）に示されるように、マイクロレンズアレイ１２２を構成するマイク

50

ロレンズ 1 2 2 (マイクロレンズ 1 2 2 a のみ表記し、 1 2 2 b 以降は省略) は、複数の画素 1 2 1 (画素 1 2 1 a のみ表記し、 1 2 1 b 以降は省略) のそれぞれと対応している。ここで、複数の部位をまとめて指定する際は番号のみを付し、そのうちの 1 つを示す際は番号と a などの記号を付す。

【 0 0 2 3 】

複数の画素 1 2 1 のそれぞれは、光学系 1 0 1 a を介して形成された光学像を光電変換する第 1 の光電変換部 1 2 3 および第 2 の光電変換部 1 2 4 を有する。これにより、例えば画素 1 2 1 a に入射した光は、その入射角に依存して、第 1 の光電変換部 1 2 3 a と第 2 の光電変換部 1 2 4 a とに分離して受光される (第 1 の光電変換部 1 2 3 a と第 2 の光電変換部 1 2 4 a は、互いに異なる入射角で入射する光を受光する) 。光の入射角は、その光が光学系 1 0 1 a における瞳のいずれの位置を通過したかにより決定される。このため、光学系 1 0 1 a の瞳は 2 つの光電変換部により 2 つの部分瞳に分割され、一つの画素内の 2 つの光電変換部は互いに異なる視点 (瞳の位置) から被写体空間を観察した情報を取得する。なお本実施例において、瞳の分割方向は水平方向であるが、これに限定されるものではなく、垂直方向や斜め方向などの他の方向であってもよい。

10

【 0 0 2 4 】

撮像素子 1 0 1 b は、第 1 の光電変換部 1 2 3 で取得された信号 (第 2 の画像、A 画像) と、この信号 (A 画像) と第 2 の光電変換部 1 2 4 で取得された信号 (第 3 の画像、B 画像) との加算信号 (第 1 の画像、A + B 画像) を出力する。このように本実施例において、第 1 の画像および第 2 の画像は、光学系 1 0 1 a を介して被写体空間を同時に撮像して得られた画像である。また本実施例において、第 1 の画像および第 2 の画像は、同一の撮像素子 1 0 1 b により撮像された画像である。

20

【 0 0 2 5 】

A 画像および A + B 画像は、記憶部 1 0 3 に一時保存される。画像処理部 (画像処理装置) 1 0 2 は、情報取得部 (取得手段) 1 0 2 a および画像生成部 (生成手段) 1 0 2 b を有し、本実施例の画像処理方法 (デフォーカスぼけを整形するぼけ整形処理) を実行する。この際、情報取得部 1 0 2 a は記憶部 (記憶手段) 1 0 3 から A 画像と A + B 画像とを取得し、画像生成部 1 0 2 b は A 画像と A + B 画像とからデフォーカスぼけを整形したぼけ整形画像を生成する。本実施例のぼけ整形画像は、デフォーカスぼけに対して、ヴィネティング、点像強度分布のピーク分離による多重ぼけ、輪帯模様、または、光学系の瞳の遮蔽のうち少なくとも一つの影響を軽減した画像である。なお、この処理の詳細に関しては後述する。

30

【 0 0 2 6 】

生成されたぼけ整形画像は、記録媒体 1 0 5 に保存される。ユーザから撮像画像の表示に関する指示が出された場合、保存されたぼけ整形画像が読み出され、表示部 1 0 4 に表示される。なお、記録媒体 1 0 5 に既に保存された A 画像と A + B 画像とを読み出し、画像処理部 1 0 2 でぼけ整形画像を生成してもよい。以上の一連の制御は、システムコントローラ 1 0 6 によって行われる。

【 0 0 2 7 】

次に、図 5 を参照して、画像処理部 1 0 2 で実行されるデフォーカスぼけを整形するぼけ整形処理 (ぼけ整形画像の生成) に関して説明する。図 5 は、ぼけ整形画像の生成処理を示すフローチャートである。図 5 の各ステップは、システムコントローラ 1 0 6 の指令に基づいて画像処理部 1 0 2 により実行される。

40

【 0 0 2 8 】

まず、ステップ S 1 0 1 において、画像処理部 1 0 2 (情報取得部 1 0 2 a) は、記憶部 1 0 3 に一時保存された A + B 画像 (第 1 の画像) 2 0 1 と A 画像 (第 2 の画像) 2 0 2 とを取得する。A 画像 2 0 2 は、光学系 1 0 1 a の瞳の一部である部分瞳 (第 2 の瞳) を通過する光束に基づいて被写体空間を撮像して得られた画像である。A + B 画像 2 0 1 は、光学系 1 0 1 a の瞳 (第 1 の瞳) を通過する光束に基づいて被写体空間を撮像して得られた画像である。本実施例において、第 2 の瞳は、第 1 の瞳に含まれ、第 1 の瞳の一部

50

である。A + B 画像と A 画像はデフォーカスぼけの大小が異なり、第 2 の瞳は第 1 の瞳より小さいため、A 画像のデフォーカスぼけは A + B 画像よりも小さい。本実施例によれば、A + B 画像と A 画像との両方を用いることで、画像中のデフォーカスぼけと被写体の構造とを区別することができる。すなわち、画像内に高周波の情報が無い、ぼけている領域が存在する場合、この領域がデフォーカスしているためにぼけているのか、または、合焦しているが被写体に高周波の情報が無いためにぼけているように見えるのかを区別することが可能である。また、図 4 に示される撮像部 101 の構成を用いることで、互いに異なる瞳の大きさの A + B 画像と A 画像とを同時に撮像可能であり、被写体の動きによる画像間のずれ等を回避することができる。

【0029】

A + B 画像には、光学系 101a のヴィネッティングによるデフォーカスぼけの欠け、デフォーカスぼけのピークの分離による多重ぼけ、光学系 101a に含まれる非球面レンズに起因するデフォーカスぼけの輪帯模様等が発生している。次に、図 6 および図 7 を参照して、これらに関して説明する。

【0030】

図 6 は、各像高とアジマスでの瞳分割の説明図である。図 6 は A + B 画像を示し、×印の像高およびアジマスにおける分割瞳を×印の横に描画している。デフォーカスぼけは、反転を除いて瞳と略同一の形状になるため、ヴィネッティングの発生している軸外の像高において、デフォーカスぼけは円形から欠けた形状となる。図 6 中の破線は、瞳の分割線（分割直線）であり、A 画像に対応する第 2 の瞳は破線に対して右側の部分瞳である。このため、A 画像のデフォーカスぼけも同様に円形から欠けた形状となる。

【0031】

次に、図 7 (A) を参照して、多重ぼけに関して説明する。図 7 (A) は、デフォーカス距離でのぼけ整形前の点像強度分布 (PSF) を示す図である。図 7 (A) において、横軸は空間座標 (位置)、縦軸は強度を示す。この点は、後述の図 7 (B) ~ (D) 関しても同様である。図 7 (A) に示されるように、多重ぼけの一例である二線ぼけは、ピークが分離した PSF を有する。デフォーカス距離における PSF が図 7 (A) のような形状を有する場合、本来は 1 本の線である被写体が、デフォーカスした際に 2 重にぼけて見えるように見える。同様に、PSF のピークが中心と両端の 3 つに分離していれば、3 重にぼけて見える。このため、PSF のピークの分離によるデフォーカスぼけへの影響を、多重ぼけと呼ぶ。

【0032】

次に、図 7 (B) を参照して、輪帯模様に関して説明する。図 7 (B) は、デフォーカス距離でのぼけ整形前の点像強度分布 (PSF) を示す図である。図 7 (B) に示されるように、輪帯模様は、PSF が振動成分を有することで実現される。このような振動成分は、光学系 101a に含まれる非球面レンズを製造する際に用いた金型の削りムラが、主な原因である。これらの望ましくない形状のデフォーカスぼけを、後述のぼけ整形処理によって整形することができる。

【0033】

続いてステップ S102 において、画像生成部 102b は、多層のニューラルネットワークを用いて、デフォーカスぼけを整形したぼけ整形画像を生成する。多層のニューラルネットワークには、A + B 画像 (第 1 の画像) および A 画像 (第 2 の画像) を入力する。ぼけ整形画像は、光学系 101a の瞳全体で撮像した画像 (A + B 画像) に対し、デフォーカス領域におけるぼけの形状を変化させた画像である。この際、ぼけ整形画像と A + B 画像において、合焦被写体は変化しない。本実施例では、多層のニューラルネットワークとして、畳み込みニューラルネットワーク (CNN: Convolutional Neural Network) が用いられる。ただし、本発明はこれに限定されるものではなく、GAN (Generative Adversarial Network) 等の方法を用いてもよい。

【0034】

10

20

30

40

50

ここで、図 1 を参照して、CNN によりぼけ整形画像 2 1 3 を生成する処理について詳述する。図 1 は、ぼけ整形画像を生成するネットワーク構造を示す図である。CNN は、複数の畳み込み層を有する。本実施例において、入力画像 2 0 1 は、A + B 画像（第 1 の画像）と A 画像（第 2 の画像）がチャンネル方向に連結（Concatenation）された画像である。第 1 の画像と第 2 の画像のそれぞれが複数のカラーチャンネルを有している場合、そのチャンネル数の 2 倍のチャンネル数を持つ画像となる。入力画像 2 0 1 は、第 1 畳み込み層 2 0 2 で複数のフィルタとの畳み込みとバイアスの和を算出される。ここで、フィルタの係数をウェイト（ウェイト情報）と呼ぶ。各層におけるフィルタおよびバイアスの値は、望ましくないデフォーカスぼけを良好な形状へ整形するように事前の学習で決定されるが、この学習に関する詳細は後述する。

10

第 1 の特徴マップ 2 0 3 は、各フィルタに対して算出された結果をまとめたものである。第 1 の特徴マップ 2 0 3 は、第 2 の畳み込み層 2 0 4 に入力され、同様に新たな複数のフィルタとの畳み込みとバイアスの和が算出される。これを繰り返し、第 N - 1 の特徴マップ 2 1 1 を第 N の畳み込み層 2 1 2 に入力して得られた結果が、ぼけ整形画像 2 1 3 である。ここで、N は 3 以上の自然数である。一般には 3 層以上の畳み込み層を有する CNN が、ディープラーニングに該当すると言われる。各畳み込み層では、畳み込みの他に活性化関数を用いた非線型変換が実行される。活性化関数の例としては、シグモイド関数や ReLU（Rectified Linear Unit）等がある。本実施例では以下の式（1）で表される ReLU を用いる。

【0035】

20

【数 1】

$$f(x) = \max(x, 0) \quad \dots (1)$$

【0036】

式（1）において、x は特徴マップ、max は引数のうち最大値を出力する MAX 関数をそれぞれ表す。ただし、最後の第 N 畳み込み層では、非線形変換を実行しなくてもよい。

【0037】

なお本実施例では、A + B 画像と A 画像のそれぞれに前処理を実行し、前処理後の A + B 画像と A 画像をそれぞれ CNN へ入力する。前処理は、A + B 画像と A 画像の分割と、分割された画像またはフィルタの反転に関する制御（反転処理）である。すなわち画像生成部 1 0 2 b は、光軸上の物点に対する第 2 の瞳が線対称となる軸と平行で、かつ A + B 画像と A 画像のそれぞれの基準点（光軸、または光軸の近傍）を通過する直線で、A + B 画像と A 画像のそれぞれを分割する。また画像生成部 1 0 2 b は、分割された A + B 画像と A 画像、またはウェイト情報に対して、反転を制御する前処理（反転処理）を施す。そして、反転処理後の A + B 画像と A 画像と（又は、反転処理後のウェイト情報）に基づいてぼけ整形画像を生成することにより、ウェイト情報の容量を削減することができる。これに関して、図 6 を参照して説明する。

30

【0038】

図 6 に示されるように、本実施例では一点鎖線を軸として A + B 画像（または A 画像）の上下いずれか一方を反転すると、他方の瞳分割と重なり、線対称になっている。このため、デフォーカスのぼけも同様に、一点鎖線に対して線対称となる。したがって、一点鎖線の上下いずれか一方の領域に関して、ぼけを補正するウェイト情報を保持しておけば、他方は画像またはウェイト情報を反転することでぼけ整形画像を推定することができる。

40

【0039】

ここで、反転とは、画像とウェイト情報との積を取る際の参照の順序を逆にする場合を含む。上下の一方のみに対してウェイト情報を学習することで、CNN で整形するデフォーカスぼけの幅が限定され、より小さなネットワークで高精度なぼけ整形を実現することができる。本実施例では、上下方向に A + B 画像と A 画像を 2 分割し、A + B 画像と A 画像の上半分または下半分を入力画像 2 0 1 とする。上下の分割画像をそれぞれ個別に CN

50

Nで処理し、出力されたぼけ整形画像を合わせることで、画像全体に対してぼけ整形が行われた画像を得ることができる。

【0040】

なお本実施例では、水平方向に瞳を分割しているため、対称軸は水平な直線である。仮に、垂直方向に瞳を分割すると、対称軸も垂直な直線になる。これをさらに一般的に表現すると、以下ようになる。分割した瞳の関係が画像全体に対して線対称となる軸は、光軸を通過し、かつ光軸上で第2の瞳が線対称になる軸と平行である。この軸で分割されたA+B画像とA画像に対し、一方の分割領域のみウェイト情報を保持しておけば、他方は反転を制御することで同じウェイト情報でデフォーカスぼけの整形処理を行うことができる。

10

【0041】

生成されたぼけ整形画像は、デフォーカスぼけの拡がり、A+B画像のデフォーカスぼけの拡がり以上になっている。ヴィネティングによるデフォーカスぼけの欠けを整形した場合、A+B画像よりもデフォーカスぼけの拡がりが大きくなる。多重ぼけや輪帯模様を整形した場合、デフォーカスぼけの拡がり、A+B画像と同じである。本実施例によれば、画像のデフォーカスぼけを整形し、良好なぼけ味を有する画像を生成することが可能になる。

【0042】

次に、図8を参照して、多層のニューラルネットワーク（本実施例ではCNN）で使用するウェイト情報の学習に関して説明する。図8は、ウェイト情報の学習に関するフローチャートである。本実施例において、学習は撮像装置100以外の画像処理装置で事前に行われ、その結果（複数のウェイト情報）が記憶部103に記憶されている。ただし本発明は、これに限定されるものではなく、撮像装置100内に学習を実行する部位が存在していてもよい。

20

【0043】

まず、ステップS201において、画像処理装置は、複数の学習ペアを取得する。学習ペアとは、CNNの入力画像としてのA+B画像およびA画像と、CNNの出力画像（ぼけ整形画像）として得たい画像（正解画像）である。学習ペアの入力画像と正解画像との関係によって、CNNが補正する対象は変化する。

【0044】

ここで、学習ペアの生成方法に関して説明する。まず、入力画像（A+B画像とA画像）と正解画像を生成する元となるソースデータを用意する。ソースデータは、広い範囲の空間周波数までスペクトル強度を有する3次元モデル、または2次元画像である。3次元モデルは、CG（コンピュータ・グラフィクス）等で生成することができる。2次元画像は、CGまたは実写画像のいずれでもよい。A画像とB画像は、撮像部101でソースデータを撮像したシミュレーション（撮像シミュレーション）によって生成することができる。撮像シミュレーションでは、撮像部101で発生するデフォーカスぼけを付与する。A+B画像は、生成されたA画像とB画像とを加算して得られる。正解画像は、光学系101aとは異なる良好なデフォーカスぼけを付与することで生成される。良好なデフォーカスぼけの例としては、例えば図7（C）に示されるフラットな円形ぼけや、図7（D）に示されるガウス分布関数が挙げられる。また、異なる分散を有する複数のガウス分布関数を加重平均したPSFを用いてもよい。ソースデータが3次元モデルの場合、合焦距離から各被写体の距離に対応したデフォーカスぼけを付与する。

30

【0045】

ソース画像が2次元画像の場合、様々なデフォーカス距離に2次元画像を配置して撮像シミュレーションを行い、それらに対応した複数の学習ペアを作成する。ただし、この際、2次元画像が合焦距離にいる学習ペアも作成する。デフォーカスぼけの整形は、合焦距離の被写体に対して変化を起こさないことが好ましい。合焦距離での学習ペアに対しては変化がないことをCNNに学習させなければ、合焦被写体に対してCNNがどのような結果を出力するか予測できない。このため、2次元画像が合焦距離にいる学習ペアも作成す

40

50

る必要がある。本実施例では、A + B 画像と A 画像とを上下方向に 2 分割してぼけ整形を行う。このため、学習ペアに付与するデフォーカスぼけは、画像中の上下のいずれか一方のみで発生するものに限定してよい。また、入力画像に撮像素子 101b で発生するノイズを付与し、正解画像はノイズのない画像としてもよい。この学習ペアで学習することで、CNN は、ぼけ整形と同時にデノイズングも実行するようになる。

【0046】

好ましくは、ソースデータは、撮像素子 101b のダイナミックレンジを越える幅の輝度を有する。これは、実際の被写体においても、特定の露出条件で撮像装置 101 により撮像を行った際、輝度飽和値に収まらない被写体が存在するためである。正解画像は、ソースデータに良好なデフォーカスぼけを付与し、撮像素子 101b の輝度飽和値で信号をクリップすることで生成される。訓練画像は、撮像部 101 で発生するデフォーカスぼけを付与し、輝度飽和値によってクリップすることで生成される。輝度飽和値によるクリップで発生する問題は、大きく 2 つある。1 つ目は、デフォーカスぼけの形状が変化することである。例えば、点光源のデフォーカスぼけの形状は、そのデフォーカス位置での PSF と一致するはずであるが、輝度飽和値でクリップされることで異なる形状となってしまう。2 つ目は、偽エッジの出現である。偽エッジは高周波を有するため、合焦被写体なのか、輝度飽和しているデフォーカスぼけなのかを判定することが難しい。しかし、1 つ目の問題は、撮像素子 101b のダイナミックレンジを越えるソースデータから生成された学習ペアを用いることで、輝度飽和値のクリップによるデフォーカスぼけの変化も、多層のニューラルネットワークが学習するため、解決することができる。さらに、異なる瞳の 2 画像をニューラルネットワークの入力とすることで、偽エッジが合焦被写体なのかデフォーカスぼけなのかを判定することも容易となり、2 つ目の問題も解決することができる。

【0047】

続いて、図 8 のステップ S 202 において、画像処理装置は、複数の学習ペアから学習を行い、ウェイト情報を生成する。学習の際には、ステップ S 102 のぼけ整形画像の生成と同じネットワーク構造を用いる。本実施例では、図 1 に示されるネットワーク構造に対して A + B 画像と A 画像を入力し、その出力結果（推定されたぼけ整形画像）と正解画像との誤差を算出する。この誤差が最小になるように、誤差逆伝播法（Backpropagation）等を用いて、各層で用いるフィルタ（ウェイト情報）とバイアスを更新して最適化する。フィルタとバイアスの初期値はそれぞれ任意であり、例えば乱数から決定することができる。または、各層ごとに初期値を事前学習する Auto Encoder 等のプレトレーニングを行ってもよい。

【0048】

学習ペアを全てネットワーク構造へ入力し、それら全ての情報を使って学習情報を更新する手法をバッチ学習と呼ぶ。ただし、この学習方法は学習ペアの数が増えるにつれて、計算負荷が膨大になる。逆に、学習情報の更新に 1 つの学習ペアのみを使用し、更新ごとに異なる学習ペアを使用する学習手法をオンライン学習と呼ぶ。この手法は、学習ペアが増えても計算量が増大しない利点があるが、その代わりに 1 つの学習ペアに存在するノイズの影響を大きく受ける。このため、これら 2 つの手法の中間に位置するミニバッチ法を用いて学習することが好ましい。ミニバッチ法は、全学習ペアの中から少数を抽出し、それらを用いて学習情報を更新する。次の更新では、異なる小数の学習ペアを抽出して使用する。これを繰り返すことにより、バッチ学習とオンライン学習の欠点を小さくすることができる。

【0049】

なお、ウェイト情報の学習およびぼけ整形画像の生成を行う際に扱う画像は、RAW 画像または現像後の画像のいずれでもよい。A + B 画像と A 画像が符号化されている場合、復号してから学習および生成を行う。学習に使用した画像とぼけ整形画像生成時の入力画像でガンマ補正の有無や、ガンマ値が異なる場合、入力画像を処理して学習の画像に合わせることが好ましい。また、A + B 画像と A 画像（学習の際は正解画像も）は、ニューラルネットワークへ入力する前に信号値を規格化しておくことが好ましい。規格化しない場

合、学習とぼけ整形画像生成時にbit数が異なっていると、ぼけ整形画像を正しく推定することができない。また、bit数によってスケールが変化するため、学習時の最適化で収束に影響を及ぼす可能性もある。規格化には、信号が実際に取り得る最大値（輝度飽和値）を用いる。例えばA+B画像が16bitで保存されていたとしても、輝度飽和値は12bitの場合等があり、この際は12bitの最大値（4095）で規格化しなければ信号の範囲が0～1にならない。また、規格化の際にはオプティカルブラックの値を減算することが好ましい。これにより、実際に画像が取り得る信号の範囲をより0～1に近づけることができる。具体的には、以下の式（2）に従って規格化することが好ましい。

【0050】

【数2】

$$S_{nor} = \frac{S - S_{OB}}{S_{satu} - S_{OB}} \quad \dots (2)$$

【0051】

式（2）において、sはA+B画像（またはA画像もしくは正解画像）の信号、 S_{OB} はオプティカルブラックの信号値（画像が取り得る信号の最小値）、 S_{satu} は信号の輝度飽和値、 s_{nor} は規格化された信号を示す。

【0052】

本実施例によれば、画像のデフォーカスぼけを整形し、良好なぼけ味を有する画像を生成することが可能な画像処理方法、画像処理装置、撮像装置、および、レンズ装置を提供することができる。

【実施例2】

【0053】

次に、本発明の実施例2における画像処理システムについて説明する。本実施例では、ぼけ整形画像を推定する画像処理装置、撮像画像を取得する撮像装置、および、学習を行うサーバが個別に存在している。

【0054】

図9および図10を参照して、本実施例における画像処理システムについて説明する。図9は、画像処理システム300のブロック図である。図10は、画像処理システム300の外観図である。図9および図10に示されるように、画像処理システム300は、撮像装置301、画像処理装置302、サーバ308、表示装置311、記録媒体312、および、出力装置313を備えて構成される。

【0055】

撮像装置301の基本構成は、ぼけ整形画像を生成する画像処理部、および撮像部を除いて、図2に示される撮像装置100と同様である。なお、本実施例の撮像装置301は、レンズ装置（光学系）の交換が可能である。撮像装置301の撮像素子は、図11に示されるように構成されている。図11は、本実施例における撮像素子の構成図である。図11において、破線はマイクロレンズを示す。画素320（a、b以降は省略）のそれぞれには4つの光電変換部321、322、323、324（a、b以降は省略）が設けられ、光学系の瞳を2×2の四つに分割している。光電変換部321～324で取得される画像を、順に、A画像、B画像、C画像、D画像とし、それらの加算結果をABCD画像とする。撮像素子からは撮像画像として、ABCD画像（第1の画像）とA画像（第2の画像）の2画像が出力される。

【0056】

撮像装置301と画像処理装置302とが接続されると、ABCD画像とA画像は記憶部303に記憶される。画像処理装置302は、情報取得部304、画像生成部305、デプス推定部306にて、ABCD画像とA画像からぼけ整形画像を生成する。この際、画像処理装置302は、ネットワーク307を介してサーバ308にアクセスし、生成に用いるウェイト情報を読み出す。ウェイト情報は、学習部310で予め学習され、記憶部

10

20

30

40

50

309に記憶されている。ウエイト情報は、レンズの種類、F値、整形後のデフォーカスぼけ形状等により個別に学習されており、複数のウエイト情報が存在する。

【0057】

画像処理装置302は、使用するウエイト情報を、ユーザの選択指示、または入力されたABCD画像から決定される自動選択により、記憶部303に取得し、ぼけ整形画像の生成を行う。ぼけ整形画像は、表示装置311、記録媒体312、および、出力装置313の少なくとも一つに出力される。表示装置311は、例えば液晶ディスプレイやプロジェクタ等である。ユーザは、表示装置311を介して、処理途中の画像を確認しながら作業を行うことができる。記録媒体312は、例えば半導体メモリ、ハードディスク、ネットワーク上のサーバ等である。出力装置313は、プリンタ等である。画像処理装置302は、必要に応じて現像処理やその他の画像処理を行う機能を有する。また本実施例において、撮像装置301に接続されているレンズ装置内の記憶手段にウエイト情報を保持しておき、デフォーカスぼけ整形の際に呼び出してもよい。

10

【0058】

次に、図12を参照して、画像処理装置302により実行されるぼけ整形画像の生成処理について説明する。図12は、ぼけ整形画像の生成処理を示すフローチャートである。図12の各ステップは、主に、画像処理装置302（情報取得部304、画像生成部305、デプス推定部306）により実行される。

【0059】

まずステップS301において、情報取得部304は、ABCD画像とA画像を取得する。本実施例において、第1の画像はABCD画像であり、第2の画像はA画像である。ただし、第1の画像は光学系の瞳全体に対応する画像である必要はなく、A画像、B画像、C画像、D画像の少なくとも二つを加算した画像でもよい。

20

【0060】

続いてステップS302において、情報取得部304は、デフォーカスぼけの整形条件を決定する。整形条件の決定は、デフォーカスぼけを望ましくない形状へ変化させる複数の要因（デフォーカスぼけの欠け、多重ぼけ、輪帯模様等）のうち、ぼけ整形によって影響を抑制する要因を選択することを含む。または、整形条件の決定は、ぼけ整形によって変化させるデフォーカスぼけ形状の目標（強度がフラットなPSFまたはガウス分布関数等）を指定することを含む。なお、整形条件は、ユーザが手動で決定することができ、または、ステップS301にて取得された画像から自動的に決定してもよい。

30

【0061】

整形条件の自動決定に関して、以下に例を説明する。ABCD画像（またはA画像）には、撮像に用いられたレンズの種類がメタデータとして保存されている。撮像に用いたレンズの種類を特定することにより、ヴィネティングの大きさ、および、二重ぼけや輪帯模様の有無を知ることができる。このため、ABCD画像の撮像に用いたレンズの種類に基づいて、ぼけ整形によって影響を抑制する要因（デフォーカスぼけの欠けなど）を決定することができる。また、メタデータ内に撮影した際の焦点距離が保存されている場合、焦点距離の情報に基づいて、整形条件を決定することもできる。広角レンズではヴィネティングが大きくなる傾向があるため、ある閾値よりも焦点距離が小さい場合、ぼけ整形によってデフォーカスぼけの欠けを抑制するように整形条件を決定する。また、デフォーカスぼけ形状の目標は、例えば、以下のようにABCD画像の輝度値に基づいて決定してもよい。ABCD画像の輝度飽和している領域は、図7（C）に示されるような強度がフラットなPSFとし、それ以外の領域は図7（D）に示されるようなガウス分布関数とする。または、撮像時に判定された撮影シーンの情報をメタデータから読み取り、撮影シーンが夜景の場合、強度がフラットなPSFとし、それ以外の場合はガウス分布関数とする等のようにしてもよい。

40

【0062】

続いてステップS303において、情報取得部304は、複数のウエイト情報から、ステップS302にて決定されたデフォーカスぼけの整形条件に対応するウエイト情報を取

50

得する。なお、複数のウエイト情報の学習方法に関しては後述する。

【0063】

続いてステップS304において、デプス推定部306は、ABCD画像とA画像からデプスマップを算出する。デプスマップの算出には、画像間の視差を用いることができ、または、デフォーカスぼけの大きさの違いに基づくDFD(Depth From Defocus)を用いてもよい。デプスマップの代わりに、ABCD画像とA画像との間における視差ずれ量を表した視差マップを算出してもよい。なお、ステップS304は、ステップS301とステップS307との間であれば、いつ実行してもよい。

【0064】

続いてステップS305において、画像生成部305は、ABCD画像とA画像の明るさを合わせる処理を行う。A画像は、ABCD画像に対して瞳が小さいため、暗い画像となっている。また、光軸上以外の像高ではヴィネティングが発生するため、像高とアジムスとにより、ABCD画像とA画像の明るさの比(光量比)は変化する。これに関し、図13を参照して説明する。

10

【0065】

図13は、分割瞳と像高とヴィネティングとの関係を示す図である。図13(A)は、撮像装置301の光学系の光軸上における瞳を示している。図13中の破線は、4つの光電変換部により分割される瞳の分割線を表している。図13(B)は、図13(A)の場合とは異なる像高における瞳を示している。図13(A)では4つの分割瞳の光量は均一だが、図13(B)ではヴィネティングにより両者の光量比に偏りが生じている。図13(C)は、図13(B)と同一像高(光軸に垂直な平面内で光軸から同一の距離の位置)でアジムス(光軸に垂直な平面内で光軸を回転軸とした方位角)が異なる場合である。この際も部分瞳の光量比が変化する。このため、ABCD画像とA画像を後述の多層のニューラルネットワークへ入力すると、画像内の像高およびアジムスにより2つの画像の明るさの関係がばらつくことにより、ぼけ生成の精度が低下する可能性がある。したがって、本実施例では、ABCD画像とA画像の明るさを合わせる前処理を実行することが好ましい。なお本実施例では、A画像の明るさをABCD画像に合わせるが、逆でも構わない。また、各像高とアジムスに対して、第1の瞳と第2の瞳それぞれの透過率分布を積分した第1の積分値と第2の積分値を取得し、明るさ合わせに使用してもよい。第1の画像の各像高とアジムスの画素に対して、対応する第1の積分値の逆数をかけ、第2の画像の各像高とアジムスの画素に対して、対応する第2の積分値の逆数をかけることでも、明るさを合わせることができる。

20

30

【0066】

2つの画像の明るさを合わせる方法として、以下に2つの例を挙げる。1つ目は、第1の瞳(光学系の瞳全体)と第2の瞳(A画像に対応する部分瞳)の光量比(第1の瞳と第2の瞳の透過率分布の比)に基づいて、明るさを合わせる方法である。A画像の各像高とアジムスの画素に対して、第2の瞳に対する第1の瞳の光量比(第2の瞳の透過率分布に対する第1の瞳の透過率分布の比)を記憶部303から読み出して積をとり、ABCD画像と明るさを合わせる。光量比は1以上の値であり、像高とアジムスによって異なる値を有する。

40

【0067】

2つ目は、ABCD画像とA画像の局所的な平均画素値を用いる方法である。ABCD画像とA画像は、収差やノイズが異なり、また視差を有するが、同じ被写体を撮像しているため、部分領域における平均画素値の比は、前述の光量比におおよそ対応する。このため、例えば、ABCD画像とA画像に平滑化フィルタをかけて各画素に対して平均画素値を求め、同一位置の画素における平均画素値の比から、この位置での光量比を求め、明るさを合わせることができる。ただし、平均画素値を求める際、輝度飽和している画素が含まれている場合、光量比から値が乖離する可能性がある。このため本実施例では、輝度飽和した画素を除いて平均画素値を求めることが好ましい。仮に、輝度飽和の面積が大きく、その位置での平均画素値が求められない場合、周辺で算出された光量比から補間を行い

50

、その位置に対応する光量比を算出することができる。部分領域の大きさは、ぼけの大きさと、第1の瞳と第2の瞳の基線長（重心位置の間の長さ）に基づいて決定することが好ましい。なおステップS305は、ステップS301とステップS307との間であれば、いつ実行してもよい。

【0068】

続いて、図12のステップS306において、画像生成部305は、多層のニューラルネットワークへ入力するABCD画像およびA画像の入力領域を決定する。画像全体をニューラルネットワークへ入力してもよいが、後述のステップS307にてデフォーカスぼけを整形するため、デフォーカスしていない領域（合焦領域）を入力する必要はない。画像のうち合焦領域を除いた領域のみをニューラルネットワークの入力領域とすることで、計算負荷を軽減することができる。合焦領域の判定には、ABCD画像（またはA画像）のエッジ分布を用いる。エッジ分布は、例えば、ABCD画像をWavelet変換することで得られる。エッジ（エッジ領域）は、高周波成分が一定以上の強度を有する領域に相当する。エッジが存在するのは合焦領域であるから、エッジを含まない領域を入力領域とする。また、エッジ分布の代わりに、ステップS304にて算出したデプスマップ（または視差マップ）に基づいて、入力領域を決定してもよい。この場合、デプスがABCD画像のメタデータ内の合焦距離と一致する領域以外を入力領域とする。また、撮像装置301は、合焦距離で視差がゼロになるように構成されているため、視差マップの場合には視差が閾値より大きい領域を入力領域とする。なおステップS306は、ステップS301とステップS307との間であれば、いつ実行してもよい。

【0069】

続いてステップS307において、画像生成部305は、ぼけ整形画像を生成する。このとき画像生成部305は、ABCD画像とA画像から入力領域を抽出し、抽出した入力領域を多層のニューラルネットワークへ入力画像として入力する。また画像生成部305は、入力領域に対応するデプスマップ（または視差マップ）も入力画像として加える。

【0070】

本実施例において、画像生成部305は、図14に示されるネットワーク構造を用いる。図14は、本実施例におけるぼけ整形画像を生成するネットワーク構造を示す図である。図14において、入力画像401は、入力領域全体、または、入力領域を分割した一部（分割領域）でもよい。入力画像401は、ABCD画像とA画像とデプスマップ（または視差マップ）とがチャンネル方向に連結された画像である。図14において、CNは畳み込み層、DSは入力される特徴マップのサンプリングレートをダウンサンプリングするダウンサンプリング層、DCは逆畳み込み層、USは特徴マップをアップサンプリングするアップサンプリング層をそれぞれ示す。ダウンサンプリング層のダウンサンプリングレートと、アップサンプリング層のアップサンプリングレートは、逆数の関係にある。各畳み込み層および逆畳み込み層で使用されるフィルタは、ウェイト情報に基づいて決定される。

【0071】

スキップコネクション412、413は、連続していない層から出力された特徴マップを合成する。特徴マップの要素ごとの和をとってもよいし、チャンネル方向に連結してもよい。複数のダウンサンプリング層とスキップコネクションによって、互いに異なる解像度の複数の特徴マップ（互いに異なるサンプリングレートのダウンサンプリングが実行された複数の特徴マップ）が生成される。これにより、畳み込み層のフィルタサイズを大きくすることなく、局所的な特徴と、より大域的な特徴の両方を算出することができる。デフォーカスぼけは、合焦距離からのずれやF値に応じて大きくなるため、大域的な特徴を算出することが好ましい。また、スキップコネクションは、フィルタの学習時に収束性を良くする役割も有する。スキップコネクション411は、入力画像401のうちのABCD画像401aと、多層のニューラルネットワークの出力との和をとる。これにより、ぼけ整形画像402が得られる。入力領域を分割して入力画像401を得ている場合、入力領域全体に対してぼけ整形画像402を算出する。ニューラルネットワークで算出された

10

20

30

40

50

ぼけ整形画像と、入力領域以外のA B C D画像とを合わせることで、画像全体に対するぼけ整形画像が生成される。

【0072】

なお本実施例において、畳み込み層、逆畳み込み層、ダウンサンプリング層、アップサンプリング層、および、スキップコネクションのそれぞれの数は、図14に示される数に限定されるものではない。また、ネットワーク構造も図14に示される構造に限定されるものではない。例えば、図15に示されるようなネットワーク構造を使用してもよい。図15は、本実施例におけるぼけ整形画像を生成する他のネットワーク構造を示す図である。

【0073】

図15のネットワーク構造は、複数のステージ500、510、520に分かれており、それぞれ解像度が異なる。ステージ520は、解像度がA B C D画像の $(1/m)^2$ 倍（ m は正の整数）である。入力画像521は、解像度が $(1/m)^2$ 倍にダウンサンプリングされたA B C D画像、A画像、および、デプスマップである。なおスキップコネクションは、図14と同様である。ステージ520における解像度でのぼけ整形画像522は、アップサンプリング層592で m 倍にアップサンプリングされ、元の $1/m$ 倍の解像度であるステージ510に入力される。

【0074】

ステージ510における入力画像511は、解像度が $1/m$ 倍のA B C D画像、A画像、デプスマップ、および、ぼけ整形画像522のアップサンプリング結果が連結されたデータである。同様に、ステージ510のぼけ整形画像512は、アップサンプリング層591で m 倍にアップサンプリングされ、ステージ500へ入力される。

【0075】

ステージ500は、元のA B C D画像と同じスケールの解像度を有する。入力画像501は、A B C D画像、A画像、デプスマップ、および、ぼけ整形画像512のアップサンプリング結果が連結されたデータである。最終的なぼけ整形画像として、ステージ500で算出されるぼけ整形画像502が出力される。なお本実施例において、ステージの数は3に限定されず、ステージ内のネットワーク構造も図15に示される構造に限定されるものではない。また、各ステージにおけるフィルタのウェイトを共通（ステージに依らず、同じフィルタを使用）にしてもよい。これにより、ウェイト情報のデータ容量を削減することができる。

【0076】

学習部310で実行されるウェイト情報の学習は、実施例1と同様に図8のフローチャートに従って行われる。本実施例では、レンズの種類に応じて、収差（多重ぼけに影響）、ヴィネティング、および、非球面レンズの有無が異なるため、レンズの種類および目標とする整形後のデフォーカスぼけ形状ごとに学習ペアを作成し、ウェイト情報を学習する。なお本実施例では、第2の画像が1枚の例を挙げたが、第2の画像が複数（例えば、A画像、C画像、D画像の3枚）ある構成としてもよい。

【0077】

本実施例によれば、画像のデフォーカスぼけを整形し、良好なぼけ味を有する画像を生成することが可能な画像処理システムを提供することができる。

【0078】

（その他の実施例）

本発明は、上述の実施例の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

【0079】

また本発明は、例えば、画像処理に関する要求を行う第1の処理装置（撮像装置、スマートフォン、PCなどのユーザ端末）と、該要求に応じて実体的に本発明の画像処理を行う第2の処理装置（サーバー）で構成された画像処理システムとしても実現可能である。

例えば、実施例 2 の画像処理システム 300 における情報取得部 304、画像生成部 305、および、デプス推定部 306 を、第 2 の処理装置としてのサーバ 308 に設けることができる。また、第 1 の処理装置としての画像処理装置 302 は、サーバ 308 に対して第 1 の画像および第 2 の画像を用いた画像処理の要求を行うように構成することができる。この場合、第 1 の処理装置（ユーザ端末）は、画像処理に関する要求を第 2 の処理装置（サーバ）に送信するための送信手段を有し、第 2 の処理装置（サーバ）は第 1 の処理装置（ユーザ端末）から送信された要求を受信する受信手段を有する。

【0080】

なお、この場合、第 1 の処理装置は、画像処理の要求と共に第 1 の画像および第 2 の画像を第 2 の処理装置に送信しても良い。ただし、第 2 の処理装置は、第 1 の処理装置の要求に応じて第 1 の処理装置以外の場所（外部記憶装置）に記憶された第 1 の画像および第 2 の画像を取得しても良い。また、第 2 の処理装置による第 1 の画像および第 2 の画像に対するぼけ整形処理が行われた後、第 2 の処理装置はぼけ整形画像を第 1 の処理装置に送信するようにしても良い。このように画像処理システムを構成することにより、比較的処理付加の重い画像生成部による処理を第 2 の処理装置側で行うことが可能となり、ユーザの負担を低減することが可能となる。

【0081】

各実施例によれば、画像のデフォーカスによるぼけを整形し、良好なぼけ味の画像を得ることが可能な画像処理方法、画像処理装置、撮像装置、レンズ装置、プログラム、および、記憶媒体を提供することができる。

【0082】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【0083】

- 102 画像処理部（画像処理装置）
- 102a 情報取得部（取得手段）
- 102b 画像生成部（生成手段）

10

20

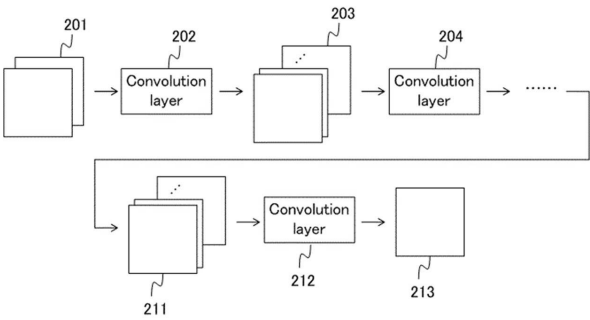
30

40

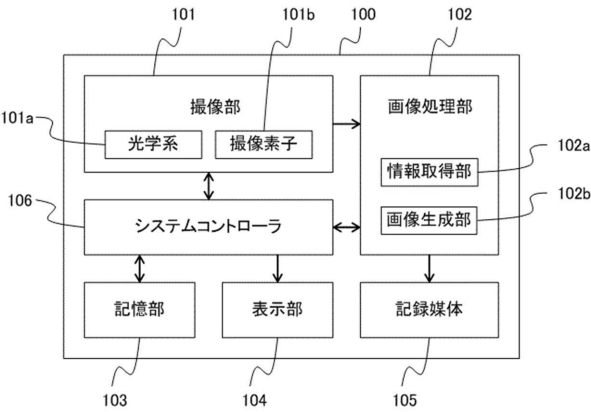
50

【図面】

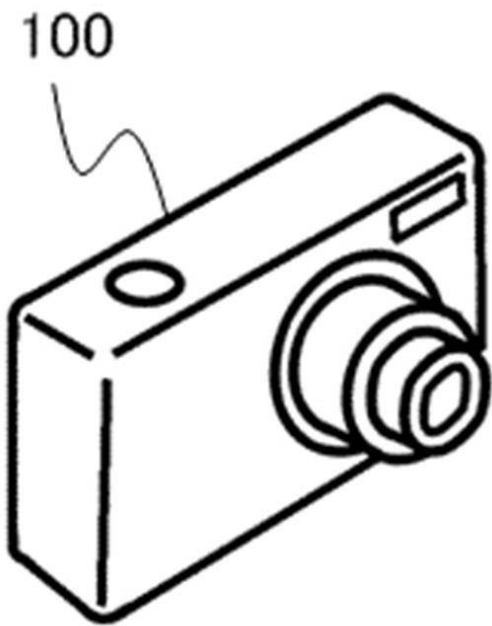
【図 1】



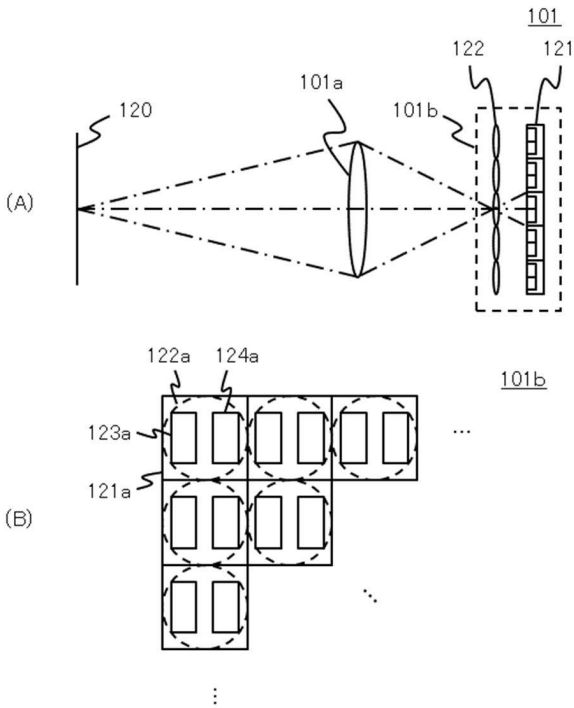
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

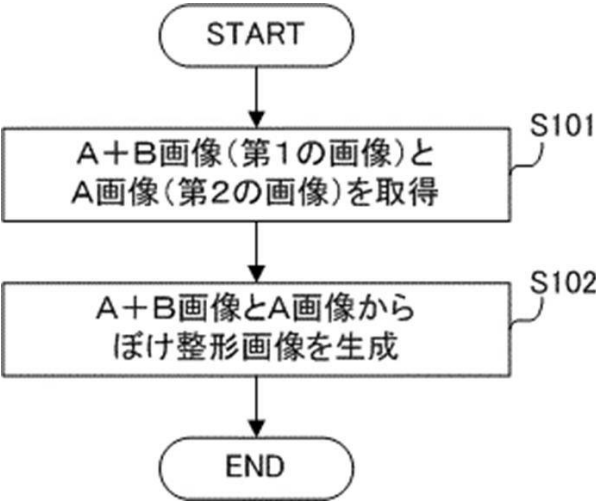
20

30

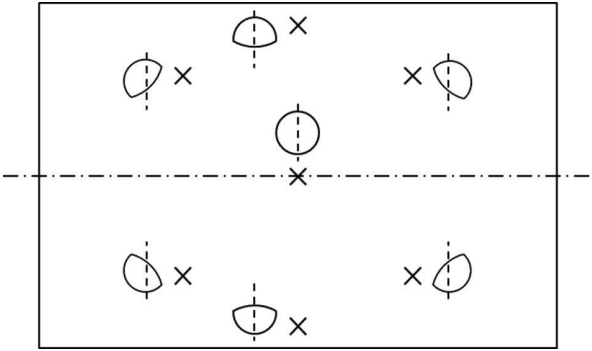
40

50

【図 5】

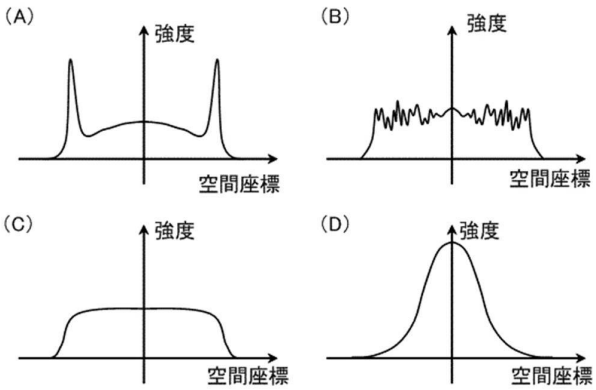


【図 6】

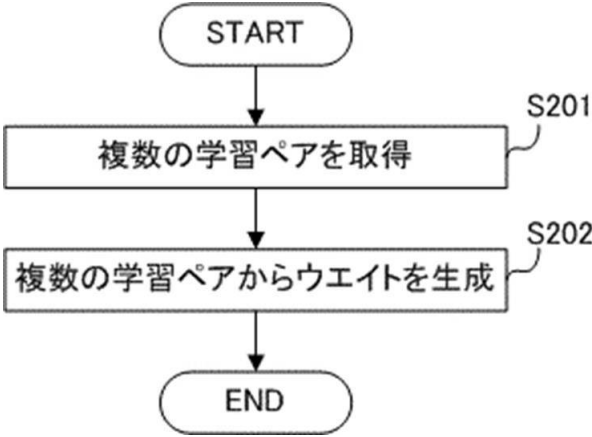


10

【図 7】



【図 8】



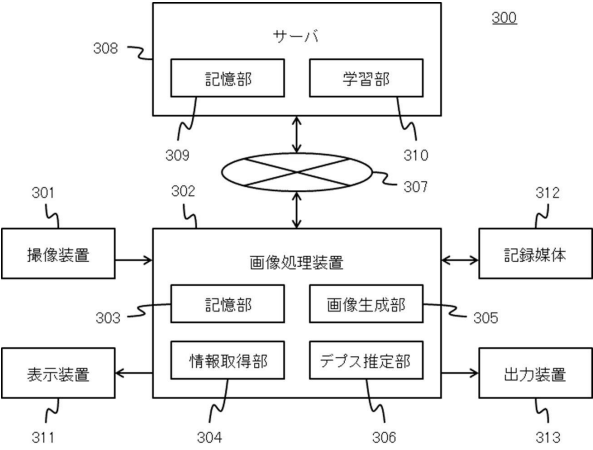
20

30

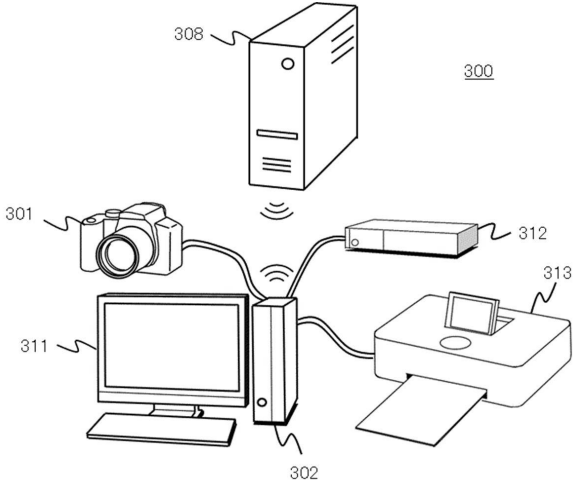
40

50

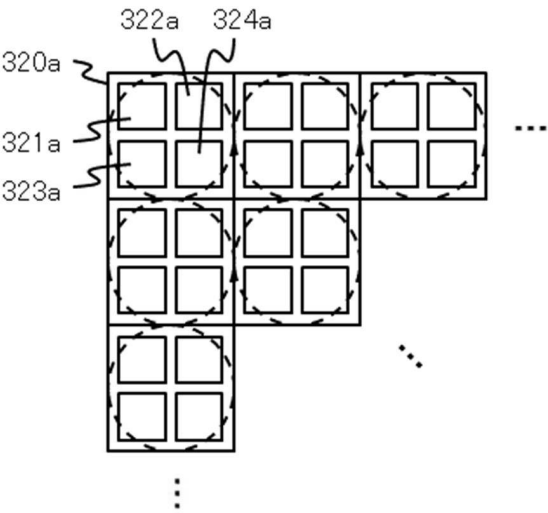
【図 9】



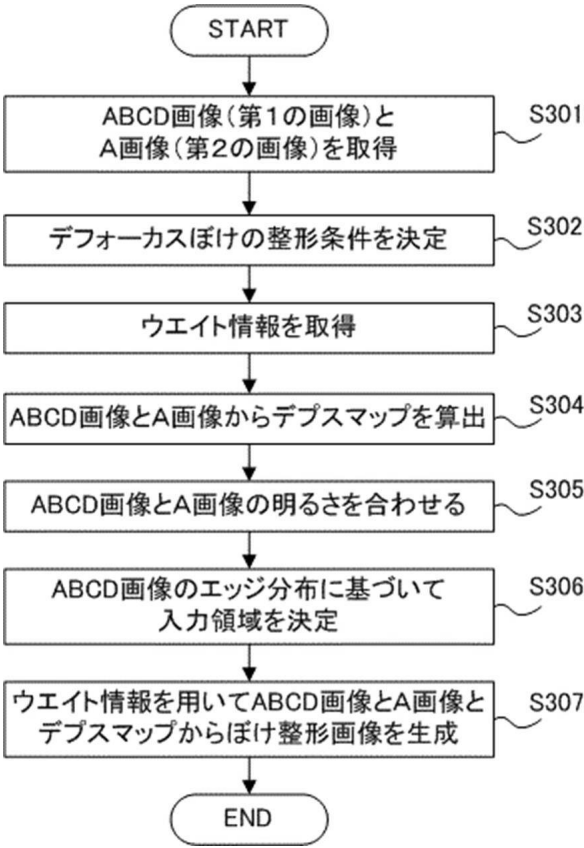
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

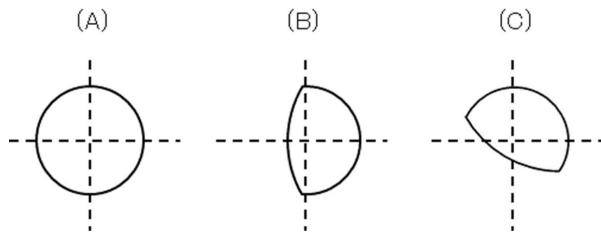
20

30

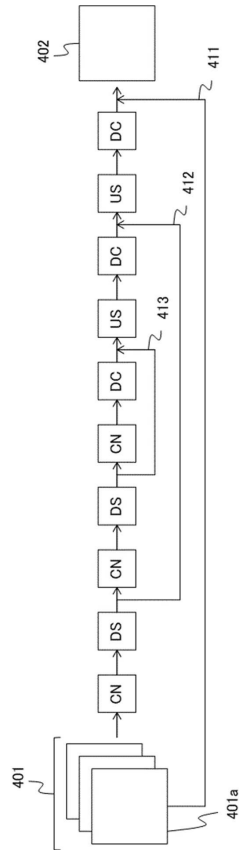
40

50

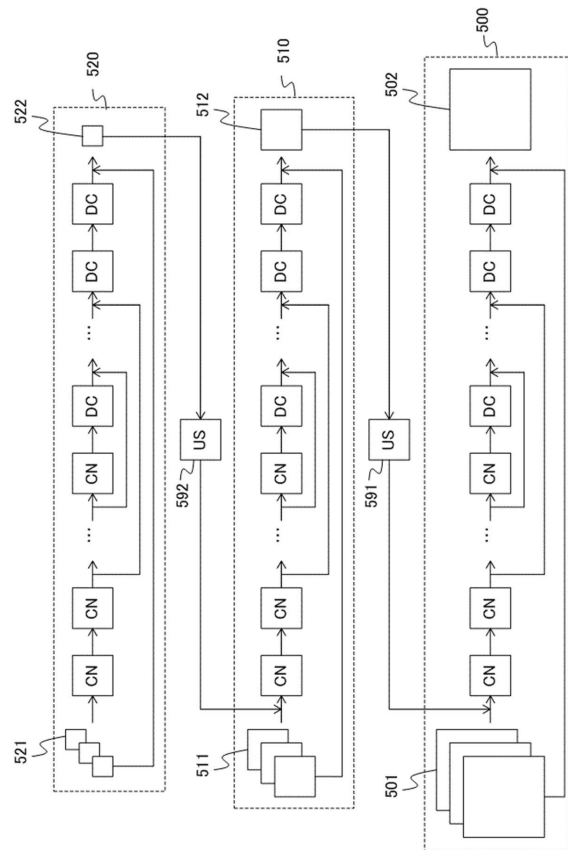
【図 1 3】



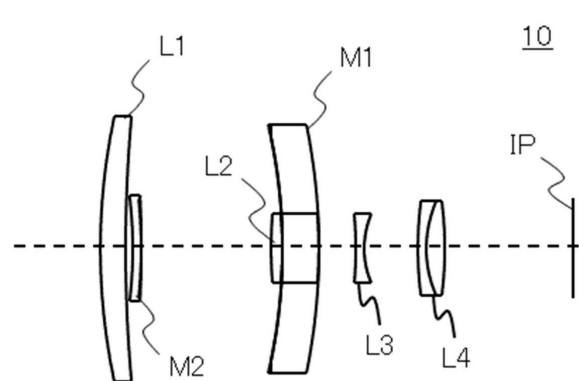
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 8 - 0 8 1 3 7 8 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 0 8 4 9 8 2 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-----------|
| H 0 4 N | 2 3 / 6 0 |
| G 0 6 T | 5 / 0 0 |
| G 0 6 T | 7 / 0 0 |